Von der

naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Universität Tübingen

genehmigte

Abhandlung zur Erlangung der Doktorwürde

von

Adalbert Anton Deckert

BERLIN 1911

Druck von Siegfried Scholem, Berlin-Schöneberg.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547023_0017

Von der naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Tübingen genehmigte Abhandlung zur Erlangung der Doktorwürde

von

Adalbert Anton Deckert.

ACAD.
LAGUBAT.
BIBL.

Von der Fakultät angenommen
den 24. Juli 1909.

TEMPERATURMESSUNG MITTELST EINES WIDERSTANDSTHERMOMETERS.

Trotz der zahlreichen Arbeiten auf diesem Gebiete ist es noch nicht gelungen ein einwandsfreies Platinthermometer zu konstruieren, das sowohl für hohe als auch tiefere Temperatur gebraucht werden kann, weshalb ich mir Untersuchungen über Widerstandspyrometer zum Ziele gesteckt habe.

Nach der Eichung wurde das Pyrometer an verschiedenen Temperaturen geprüft und hierauf mit ihm die Abhängigkeit des Siedepunktes von Zink von dem Druck innerhalb des Bereiches von ca. 10 bis ca. 760 mm Hg untersucht und festgestellt.

Konstruktion des Pyrometers.

Die Pyrometerröhre bestand aus Hartporzellan und war aus der Kgl. Porzellanmanufaktur Charlottenburg. Ihre Länge betrug 35 cm, ihre lichte Weite 1,2 cm. Die Röhre war außen glasiert, um die den Widerstand des Pyrometers fortwährend ändernden Dämpfe der erhitzten Massen abhalten zu können.

Der Platindraht wurde von C. Heraeus, Hanau, bezogen. Der 0,1 mm starke Draht war auf ein Glimmerkreuz aufgewickelt. Die Glimmerscheibchen waren mit Löchern und nicht mit Einkerbungen zur Auf-

nahme des Drahtes versehen. Die Einschnitte pressen den Draht schon bei gewöhnlicher Temperatur zusammen, verhindern bei höheren Temperaturen aber überhaupt jede regelmäßige Ausdehnung. Dies dürfte bis jetzt eine Fehlerquelle von nicht zu unterschätzender Bedeutung gewesen sein.

Ferner haben die Löcher noch den Vorteil, daß sie die mechanische Festigkeit des Glimmerkreuzes nicht herabdrücken. Die Röhre war mit einer Ebonitkapsel verschlossen, durch welche die Pyrometerdrähte liefen. In die Kapsel war ein Glashahn zum Evakuieren der Röhre eingekittet um die Zerstäubung zu vermeiden. Eine solche wurde denn auch nicht festgestellt, nachdem die Versuche mit hohen Temperaturen beendet waren. Die Ebonitkapsel war mit „Chat de Campagne" aufgekittet. Um das Weichwerden desselben zu vermeiden wurden Hüllen von Asbestpappe angewandt. Das Rohr ragt ca. 10 bis 12 cm über das Schmelzrohr des elektr. Ofens heraus.

Die 0,1 mm dicken Kompensationsdrähte aus Platin waren an den Pyrometerwickel angeschweißt.

Beschreibung des elektrischen Ofens. Derselbe ist mir durch D. R. P. Nr. 204 410 geschützt.

Da die Versuche sowohl Schmelzpunkts- als auch Siedepunktsbestimmungen zum Ziel hatten, war das Augenmerk darauf gerichtet einen Ofen zu bauen, der in gleicher Weise zum Schmelzen als auch sofort zum Sieden verwendet werden konnte.

In einem zyl. Gefäß von feuerfestem Ton befindet sich ein zylindrisches Stahlgefäß. In diesem steckt ein Tonzylinder, der auswechselbar ist und in diesem mit einem Spielraum das Schmelzgefäß. In den

Raum zwischen Tonzylinder und Schmelzgefäß kommt die Widerstandsmasse (kleinstückige). Dem Schmelzgefäß entlang gleitet ein Elektrodenring aus Stahl, der mit einem Ansatz versehen ist und auf die Widerstandsmasse aufgesetzt werden kann.

Je nach der Größe der zu erhitzenden Masse und der erforderlichen Temperatur nimmt man sich einen Tonzylinder (man hat deren am besten drei) von entsprechender innerer Weite. Hat man z. B. wenig Schmelzmasse, die einer hohen Temperatur bedarf, so nimmt man den Zylinder mit kleinster lichter Weite, damit der Spielraum zwischen ihm und dem Schmelzgefäß möglichst klein, somit der Querschnitt der Widerstandsmasse möglichst klein, die Heizwirkung möglichst groß ist.

Für höhere Temperaturen als 1100° ist es notwendig für alle Elektroden (Zylinder, Ring und Führung) Graphit oder Kohle zu nehmen. Noch besser ist es für Ring und Führung wieder einen Zylinder zu nehmen, da der Kohlenstab sehr leicht an dem Ring abbricht.

Statt des auswechselbaren Tonzylinders kann man auch einen Satz von ineinandergeschachtelten Zylindern mit geringer Wandstärke gebrauchen, da die von mir gebrauchten Schamotterohre bei den zahlreichen Probeversuchen mit entsprechender Weite selten zu bekommen waren, habe ich weite Zylinder mit Asbestpapier ausgekleidet. (Tafel II, Fig. 4.)

Der Strom geht von der Stromquelle zum Elektrodenzylinder, von der Wand zum Boden, durch die Widerstandsmasse nach dem Elektrodering durch die Führung zur Stromquelle zurück. Der Ofen hat den Vorteil, daß er nicht für eine bestimmte Spannung gebaut, leicht reparierbar und billig ist.

Um das Schmelzmaterial nach dem Erstarren aus dem Schmelzgefäß wieder herauszubekommen, ist es ratsam, dasselbe mit Graphitpulver auszureiben.

Bei einer Spannung von ca. 200 Volt waren Stromstärke von ca. 20 Amp. nötig.

Messung tiefer Temperaturen:

Dieselbe bezweckte nachzuweisen, daß mit dem konstruierten Pyrometer auch tiefe Temperaturen mit hinreichender Genauigkeit gemessen werden können.

Als Fixpunkt dienten die Temperatur reinen, schmelzenden Eises, die Temperatur des mit Aether versetzten Kohlensäureschnees und der Siedepunkt von flüssigem Sauerstoff, die Temperatur von frischer, flüssiger Luft wurde zu —190° gefunden, ein Wert, der die Richtigkeit der Messungen tiefer Temperatur beweist. Als Bad wurde für den flüssigen Sauerstoff flüssige Luft gewählt.

Verwendet wurde der von A. Bestelmeyer konstruierte Apparat.

Mit einem zylindrischen Glasgefäß ist unten ein enges Glasröhrchen fest verbunden. In dem Röhrchen befinden sich die Leitungen eines Heizwiderstandes, der sich in dem Glasgefäß befindet und dazu dient, den flüssigen Sauerstoff zum Sieden zu bringen. Das Ganze wird in ein zyl. Dewargefäß mit flüssiger Luft gesteckt. Gemessen wurde bei Atmosphärendruck. Berechnet wurde die Temperatur durch Extrapolation nach den Resultaten von Fravers.

Die elektr. Heizung betrug etwa 104 Watt. Um Sauerstoff zu sparen kann man das Röhrchen mit den Heizzuleitungsdrähten mit Wachs ausgießen.

Dasselbe Dewargefäß wurde bei der Messung in Kohlensäureschnee gebraucht.

Hier soll noch hingewiesen werden auf die Untersuchungen von John Zeleny und Anthony Zeleny: „Die Temperatur fester Kohlensäure und ihrer Mischung mit Aether und Alkohol bei verschiedenen Drucken," die jedoch bei späteren Arbeiten nicht berücksichtigt erscheinen. Zwischen 2 und 84 cm Hg differiert die Temperatur von — 116,7° bis — 77,0°; bei 76 cm Hg ist sie — 78,34° C.

Beschreibung des Barometers.

Bei Siedepunktsbestimmungen ist die Anwendung eines Barometers von Vorteil, das mir durch D. R. P. Nr. 205 178 geschützt ist.

Bei den Heberbarometern ist man im Augenblick des Ablesens nie sicher, ob der untere Quecksilberspiegel wirklich auf Null steht. Ich habe nun unten an der Einstellung ein rechtwinkeliges Prisma so angebracht, daß das Bild des Quecksilberspiegels nach oben geworfen wird und dort in Augenhöhe ebenfalls ein rechtwinkeliges Prisma angebracht, daß man die Nullstellung bei jeder Ablesung ohne weiteres kontrollieren kann. Man kann so bei der Einstellung auf Null auch das Bücken vermeiden. (Tafel II, Fig. 6.)

Schaltanlage.

Der Commutator I kann 2 Stellungen einnehmen (nach Schrift: a und b).

Bei jeder dieser Stellung wird sowohl der Pyormeterwiderstand, als auch der Vergleichswiderstand von 10 Ohm kompensiert.

Die Umschaltung von Pyrometer und V. W. geschieht durch C II.

Kompensiert wird jedesmal so lange, bis das Spiegelgalvanometer keinen Ausschlag mehr gibt.

Aufstellung der Fixpunkte.

Die Zahlen a bedeuten die Anzahl Ohm, die nötig war, um den Pyrometerwiderstand bei der einen Stromrichtung, die Zahlen b diejenigen, die bei umgekehrter Richtung nötig war, zu kompensieren.

Die Zahlenreihe I gibt die Kompensationswiderstände für den Normalwiderstand von 10 Ohm.

Eispunkt.

	I.	II.
a	2 731,8	2 128
b	2 732,5	2 129,4
a	2 731,8	2 128
b	2 732,5	2129,4
a	2 731,8	2 128
b	2 732,5	2 129,4
a	2 731,8	2 128
b	2 732,5	2 129,4
a	2 731,8	2 128,1
b	2 732,5	2 129,4
	27 321,5	21 287,1

$$Ro = \frac{10 \cdot 21\,287{,}1}{27\,321{,}5} = 7 \cdot 7913\ \Omega$$

Siedepunkt von destilliertem H_2O:

	I.	II.
a	3 071,9	3 308,1
b	3 072,9	3 309,5
a	3 071,9	3 308,1
b	3 072,9	3 309,5
a	3 071,9	3 308,1
b	3 072,9	3 309,5
a	3 071,0	3 308,3
b	3 072,8	3 309,3
a	3 071,9	3 308,1
b	3 072,9	3 309,5
	30 724,0	33 088,0

$$R = \frac{10 \cdot 33\,088{,}0}{30\,724{,}0} = 10{,}7694\ \Omega$$

Reduzierter Barometerstand = 703,65 Millimeter Hg. Siedetemperatur des Wassers bei 703,65 mm Hg = 97,854°.

Dann ist:

$$R_{100} = R_0 + 100 \cdot \frac{R\ 97{,}854 - R_0}{97{,}854}$$

$$= 7{,}7913 + 3{,}0431$$

$$R_{100} = 10{,}8344\ \Omega$$

Siedepunkt des Schwefels.

Reduzierter Barometerstand = 714 mm Hg. Nach Callendar ist:

$$t = 444{,}53 + 0{,}082\ (H - 760),$$

H = Barometerstand,

$$t = 440{,}758°.$$

	II.	I.
a	3 028,5	6 178,4
b	3 029,2	6 183,4
a	3 028,3	6 178,2
b	3 029,0	6 184,0
a	3 028,3	6 178,4
b	3 029,0	6 183,5
a	3 028,2	6 178,0
b	3 029,0	6 183,9
a	3 028,2	6 178,0
b	3 029,0	6 184,0
a	3 028,0	6 178,1
b	3 029,0	6 183,6
a	3 028,0	6 178,2
b	3 029,0	6 183,5
a	3 028,0	6 178,2
b	3 029,0	6 183,8
a	3 028,0	6 178,4
b	3 029,0	6 183,5
a	3 028,0	6 178,5
b	3 029,0	6 183,8
	60 571,7	12 361,90

$$R = \frac{10 \cdot 123\,619}{105\,717} = 20{,}4887\ \Omega$$

Bestimmung der Callendar'schen Materialkonstanten δ:

$$\text{I. } t - pt = \delta \left[\left(\frac{t}{100} \right)^2 - \frac{t}{100} \right]$$

$$\text{II. } pt = 100 \cdot \frac{R - R_0}{R_{100} - R_0}$$

$$pt = 100 \cdot \frac{20{,}4887 - 7{,}7913}{10{,}8344 - 7{,}7913}$$

$$pt = 417{,}2521$$

Dann ergibt aus I:

$$\delta = 1{,}565$$

Es gilt also für Temperaturen von 0^0 minus $440{,}758^0$:

$$t - pt = 1{,}565 \left[\left(\frac{t}{100} \right)^2 - \frac{t}{100} \right]$$

und

$$pt = 100 \cdot \frac{R - 7{,}7913}{3{,}0431}$$

R = beobachteter Pyrometerwiderstand.
Es ist dann:

$$t = \frac{2031{,}3 - \sqrt{4\,126\,179{,}69 - 2\,504\ pt}}{0{,}626}$$

Der Siedepunkt von Schwefel wurde ebenso wie die Siedepunkte von Zimmtsäure, Acetanilid usw. in einem Gefäß ähnlich einer Meyerschen Dampfdichteröhre mit einem dicken Asbestmantel bestimmt. (Fig. 3, Tafel II.)

Siedepunkt von Diphenylamin.

Reduzierter Barometerstand = 713 mm Hg.

a	5 059,8	3 040,6
b	5 059,8	3 040,8
a	5 059,8	3 040,7
b	5 059,8	3 040,8
a	5 059,8	3 040,6
b	5 059,9	3 040,9
a	5 059,8	3 040,7
b	5 059,9	3 040,9
a	5 059,9	3 040,8
b	5 059,9	3 040,9
	50 598,4	30 407,7

$$R = \frac{10 \cdot 50\,598{,}4}{30\,407{,}7} = 16{,}6400\ \Omega$$

$t = 300{,}2^0$.

Siedepunkt von Acetanilid,

Reduzierter Barometerstand = 712,5 mm Hg.

a	5 047,0	3 040,1
b	5 046,4	3 040,0
a	5 047,0	3 040,1
b	5 046,9	3 040,1
a	5 047,0	3 040,1
b	5 047,0	3 040,3
a	5 047,0	3 040,2
b	5 046,7	3 040,1
	40 375,0	24 321,0

$$R = \frac{10 \cdot 40\,375{,}0}{24\,212{,}0} = 16{,}600\ \Omega$$

$t = 299{,}1^0$.

Siedepunkt von Zimmtsäure:

Reduzierter Barometerstand = 715 mm Hg.

a	5 008,7	3 039,7
b	5 008,4	3 039,5
a	5 009,0	3 059,8
b	5 008,0	3 039,3
a	5 008,8	3 039,7
b	5 008,5	3 039,6
a	5 009,0	3 039,9
b	5 008,6	3 039,6
a	5 008,8	3 039,7
b	5 008,7	3 039,7
	50 086,5	30 390,5

$$R = \frac{10 \cdot 50\,086{,}5}{30\,390{,}5} = 16{,}48\ \Omega$$

$t = 294^0$.

Schmelzpunkt von Zink:

a	6 041,4	3 035,15
b	6 041,35	3 035,1
a	6 041,4	3 035,2
b	6 041,3	3 035,1

a	6 041,4	3 035,1
b	6 041,3	3 035,0
a	6 041,3	3 035,0
b	6 041,2	3 035,9
a	6041,3	3 035,05
b	6 041,25	3 035,0
	60 413,2	30 350,6

$$R = \frac{10 \cdot 60\,413{,}2}{30\,350{,}6} = 19{,}9051\ \Omega$$

$$t = 418{,}99^0.$$

Schmelzpunkt von Zinn:

a	6 141,3	3 032,3
b	6 141,3	3 032,3
a	6 141,25	3 032,2
b	6 141,25	3 032,15
a	6 141,20	3 031,90
b	6 141,15	3 031,80
a	6 141,20	3 031,90
b	6 141,20	3 031,80
a	6 141,20	3 031,90
b	6 141,20	3 031,90
	61 412,25	30 320,15

$$R = \frac{10 \cdot 61\,412{,}25}{30{,}320{,}15} = 20{,}2546\ \Omega$$

$$t = 432^0.$$

Schmelzpunkt von chemisch reinem Silber.

a	704,3	204,4
b	704,3	204,4
a	704,3	204,35
b	704,25	204,30
a	704,3	204,30
b	704,3	204,30
a	704,25	204,25
b	704,25	204,20
a	704,2	204,20
b	704,2	204,20
	7 042,65	2 042,90

$$R = \frac{10 \cdot 7042{,}65}{2042{,}90} = 34{,}4738\ \Omega$$

Holborn und Day fanden für den Schmelzpunkt von Silber in Luft 955°. Da diese Bestimmung mit der anderer Forscher übereinstimmt, wurde der Schmelzpunkt von Silber als Fixpunkt gebraucht.

Es wurde also gefunden:

$$R_0 = 7{,}7913\ \Omega$$
$$R_{100} = 10{,}8344\ \Omega$$
$$R_{440{,}758} = 20{,}4887\ \Omega$$
$$R_{955} = 34{,}4738\ \Omega$$

Der Zusammenhang zwischen Ro, Rt und t läßt sich nun sehr genau ausdrücken durch die Funktion:

I. $R_t = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3)$

$\alpha = 3{,}98734892 \cdot 10^{-3}$

$\beta = -\ 8{,}6193745 \cdot 10^{-7}$

$\gamma = 4{,}6148228727 \cdot 10^{-10}$

Die Cardanische Formel ist zur Berechnung von t, wenn Rt bekannt ist, ungeeignet, wie sich aus folgendem ergibt.

Es ist:

$$\frac{Rt - Ro}{Ro} = \gamma\, t^3 + \beta\, t^2 + \alpha\, t$$

$$\frac{Rt - Ro}{\gamma \cdot Ro} = t^3 + \frac{\beta}{\gamma}\, t^2 + \frac{\alpha}{\gamma}\, t$$

Für

$$t = x - \frac{\beta}{3\gamma}$$

ergibt sich:

$$x^3 + p\, x + q = 0$$

$$p = \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{1}{3}\left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^2$$

$$q = -\frac{1}{3} \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \frac{\beta}{\gamma} + \frac{2}{27}\left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^3 - \frac{Rt - Ro}{Ro \cdot \gamma}$$

$$\frac{\alpha}{\gamma} = 8640307{,}613$$

$$\frac{\beta}{\gamma} = 1867{,}758$$

$$Ro \cdot 8 = 35955469448 \cdot 10^{-9}$$

$$\frac{1}{\gamma \cdot Ro} = 278121803{,}26$$

$$\left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^2 = 3488319{,}946564$$

$$\left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^3 = 6515337486{,}75448$$

$$\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^2 = 1162773{,}315521$$

$$\frac{1}{3} \left(\frac{\alpha}{\gamma}\right) \cdot \left(\frac{\beta}{\gamma}\right) = 5379334555{,}547$$

$$\frac{2}{27} \left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^3 = 482617591{,}61144$$

Dann ergibt sich:

$$p = + 7477534{,}2975$$

$$q = + 4896716963{,}93578 - 278121803{,}26\ (Rt - Ro)$$

$$0 = x^3 + 7477534{,}2975\ x + 4896716963{,}93578$$

Nach der Formel von Cardani ist:

$$x^3 = \sqrt{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{q^3}{27}}} + \sqrt{-\frac{q^2}{4} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}$$

Beim Schmelzpunkt von Al wurde gefunden (s. u.):

$$Rt = 26{,}3229\ \Omega$$

Dann ist:

$$Rt - Ro = 18{,}5316\ \Omega$$

Die 4. Dezimalstelle der gemessenen Widerstände ist ein Näherungswert, der jedoch bei der Berechnung von (Rt — Ro) . 278 121 803,26 eine wesentliche Rolle spielt.

Die Beobachtungsfehler würden also bei der Berechnung von p und q und damit auch von t unrichtige Resultate verursachen.

Schmelzpunkt von Aluminium:

a	8 297,3	3 152,2
b	8 297,3	3 152,2
a	8 297,1	3 152,1
b	8 297,1	3 152,1

a	8 296,8	3 151,9
b	8 296,8	3 151,9
a	8 296,9	3 151,9
b	8 296,9	3 151,9
a	8 296,7	3 151,9
b	8 296,7	3 151,8
	82 966,0	31 519,90

$$R = \frac{10 \cdot 82966{,}0}{31519{,}90} = 26{,}3229\ \Omega$$

$$t = 657^0.$$

Schmelzpunkt von Antimon.

a	7 944,40	3 124,1
b	7 944,45	3 124,15
a	7 944,3	3 124,0
b	7 944,3	3 124,0
a	7 944,25	3 123,9
b	7 944,20	3 123,8
	47 665,90	18 743,95

$$R = \frac{10 \cdot 47665{,}90}{18743{,}95} = 25{,}4300\ \Omega$$

$$t = 623{,}8^0.$$

Die Beziehungen zweiten Grades, welche mit Hilfe der Fixpunkte 0^0, 100^0, 955^0 und 0^0, 440^0, 758^0 und 955^0 aufgestellt wurden, waren:

II: $Rt = Ro\ (1 + 3{,}94316469\ \ 10^{-3}\,t - 0{,}3739469 \cdot 10^{-7} + ^2)$

III: $Rt = Ro\ (1 + 3{,}79299\ t \cdot 10^{-3} - 0{,}216717 \cdot 10^{-7} + ^2)$

Doch sind sie zur Berechnung von t weniger brauchbar als I.

Die Resultate der Gleichungen I und II, wie die der Gleichungen I und III und auch diejenige von II und III weichen von Null ab.

Bei der Bestimmung des Siedepunktes von Zink wurde denn auch die Gleichung I beibehalten.

Siedepunkt von Zink.

Das Zink befand sich in einem zylindrischen Stahlgefäß, das in die Schmelzröhre des elektrischen Ofens gesteckt wurde. Die Dichtung geschah mit dicken Asbestpfropfen, die einen nach außen überhängenden Fortsatz hatten. Derselbe wurde mit Draht um das Stahlrohr herumgeschnürt und die ganze Dichtung mit „Chat de Campagne" umkleidet, der sich infolge des guten Wärmeschutzes gut hielt. Nach außen war ebenfalls luftdicht ein engeres Rohr eingesetzt, das zur Pumpe führte, die mit einem Manometer verbunden war. Untersuchungen wurden gemacht zwischen den Drucken von ca. 10—760 mm Hg. Die nachstehenden wurden wiederholt nachgeprüft.

Das Siederohr war gut mit Graphitpulver eingerieben, um das Zink möglichst rein zu halten.

Beobachtungen:

$p = 760$ mm Hg.

203,14	679,69
203,12	679,67
203,13	679,68
203,13	679,68
203,14	679,69
203,12	679,68
203,13	679,68
203,13	679,68
203,13	679,68
203,13	679,68
2 031,30	6 796,81

$$R = \frac{10 \cdot 6796{,}8}{2031{,}3} = 33{,}4604\ \Omega$$

p = 720 mm Hg.

230,20	767,05
230,20	767,05
230,19	767,04
230,21	767,05
230,20	767,05
230,20	767,05
230,20	767,05
230,20	767,05
230,20	767,05
230,20	767,05
2 302,00	7 670,49

$$R = \frac{10 \cdot 7670{,}49}{2302{,}0} = 33{,}3210\ \Omega$$

p = 695 mm Hg.

225,15	748,32
225,13	748,30
225,14	748,32
225,14	748,31
225,14	748,32
225,14	748,31
225,14	748,31
225,14	748,31
225,15	748,32
225,13	748,31
2 251,40	7 483,13

$$R = \frac{10 \cdot 7483{,}13}{2251{,}4} = 33{,}2377\ \Omega$$

p = 668 mm Hg.

224,33	741,92
224,31	741,90
224,33	741,92
224,31	741,91
224,32	741,92
224,32	741,91
224,32	741,92
224,32	741,91
224,32	741,91
224,32	741,91
2 243,20	7 419,13

$$R = \frac{10 \cdot 7419{,}13}{2243{,}2} = 33{,}0717\ \Omega$$

p = 625.

206,04	676,59
206,02	676,59
206,04	676,59
206,02	676,58
206,04	676,58
206,02	676,57
206,03	676,57
206,03	676,57
206,03	676,57
206,03	676,57
2 060,30	6 765,78

$$R = \frac{10 \cdot 6765{,}78}{2060{,}30} = 32{,}8388\ \Omega$$

p = 579.

221,44	719,43
221,42	719,42
221,44	719,43
221,42	719,43
221,43	719,43
221,43	719,43
221,43	719,43
221,43	719,43
221,43	719,43
221,43	719,43
2 214,30	7 194,29

$$R = \frac{10 \cdot 7194{,}29}{2214{,}30} = 32{,}4901\ \Omega$$

p = 531 mm Hg.

211,46	680,00
211,44	679,99
211,46	680,00
211,45	679,99
211,45	679,99
211,45	679,99
211,45	679,99
211,45	679,99
211,45	679,99
211,45	679,99
2 114,51	6 799,92

$$R = \frac{10 \cdot 6799{,}92}{2114{,}51}\ 32{,}1586\ \Omega$$

p = 427 mm Hg.

213,22	661,67
213,20	661,65
213,22	661,67
213,20	661,65
213,21	661,66
213,20	661,66
213,21	661,66
213,21	661,66
213,21	661,66
213,21	661,66
2 132,09	6 616,60

$$R = \frac{10 \cdot 6616,6}{2132,09} = 31,0335\ \Omega$$

p = 392 mm Hg.

211,24	646,22
211,23	646,21
211,24	646,21
211,23	646,21
211,23	646,21
211,22	646,20
211,23	646,20
211,23	646,20
211,23	646,20
211,23	646,20
2 112,31	6 462,06

$$R = \frac{10 \cdot 6462,06}{2112,31} = 30,5925\ \Omega$$

p = 347 mm Hg.

210,13	629,74
210,13	629,74
210,13	629,74
210,12	629,74
210,12	629,74
210,12	629,73
210,12	629,72
210,11	629,72
210,12	629,72
210,11	629,72
2 101,21	6 297,31

$$R = \frac{10 \cdot 6297,31}{2101,21} = 29,9700\ \Omega$$

p = 286 mm Hg.

210,15	608,90
210,13	608,89
210,15	608,89
210,13	608,88
210,14	608,88
210,14	608,88
210,14	608,88
210,14	608,88
210,14	608,88
210,14	608,88
2 101,40	6 088,84

$$R = \frac{10 \,.\, 6088{,}84}{2101{,}40} = 28{,}9751\ \Omega$$

p = 234 mm Hg.

210,03	593,02
210,01	593,00
210,03	593,02
210,02	593,02
210,02	593,00
210,02	593,00
210,03	593,01
210,01	593,00
210,02	593,00
210,02	593,00
2 100,21	5 930,07

$$R = \frac{10 \,.\, 5930{,}07}{2100{,}21} = 28{,}2357\ \Omega$$

p = 185 mm Hg.

192,33	425,37
192,32	425,37
192,32	425,37
192,32	425,37
192,31	425,36
192,30	425,36
192,30	425,36
192,30	425,36
192,30	425,36
192,30	425,36
1 923,10	4 253,64

$$R = \frac{10 \,.\, 4253{,}64}{1923{,}1} = 27{,}3186\ \Omega$$

p = 143 mm Hg.

181,25	481,94
181,24	481,93
181,24	481,93
181,23	481,93
181,23	481,92
181,23	481,92
181,22	481,92
181,22	481,92
181,22	481,92
181,22	481,92
1 812,30	4 819,25

$$R = \frac{10 \cdot 4819{,}25}{1812{,}30} = 26{,}5919\ \Omega$$

p = 112 mm Hg.

182,16	472,61
182,15	472,60
182,15	472,59
182,14	472,59
182,14	472,59
182,14	472,59
182,13	472,59
182,13	472,59
182,13	472,59
182,13	472,58
1 821,40	4 725,92

$$R = \frac{10 \cdot 4725{,}92}{1821{,}40} = 25{,}9466\ \Omega$$

p = 87 mm Hg.

181,23	460,98
181,22	460,92
181,22	460,92
181,22	460,92
181,21	460,92
181,20	460,91
181,20	460,92
181,20	460,91
181,20	460,92
181,20	460,90
1 812,10	4 609,17

$$R = \frac{10 \cdot 4609{,}17}{1821{,}1} = 25{,}43550\ \Omega$$

$p = 48$ mm Hg.

180,13	442,67
180,13	442,66
180,13	442,66
180,12	442,65
180,12	442,65
180,12	442,65
180,12	442,64
180,11	442,64
180,11	442,64
180,11	442,64
1 801,20	4 426,50

$$R = \frac{10 \cdot 4426{,}50}{1801{,}20} = 24{,}5753\ \Omega$$

$p = 15$ mm Hg.

172,43	410,34
172,43	410,34
172,43	410,33
172,43	410,33
172,42	410,33
172,42	410,32
172,42	410,32
172,41	410,32
172,41	410,31
172,40	410,31
1 724,20	4 103,26

$$R = \frac{10 \cdot 4103{,}26}{1724{,}2} = 23{,}8561\ \Omega$$

Aus:

$$R_t = 7{,}7913\ (1 + 3{,}98734892 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8{,}6193745 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 4{,}6148228727 \cdot 10^{-10} \cdot t^3)$$

ergibt sich für:

R	t
33,4604 Ω	919°
33,3210	914
33,2377	911
33,0717	905
32,7944	895
32,4901	884
32,1586	872

R	t
31,0335	831
30,5925	815
29,9700	792
28,9751	760
28,2357	728
27,3186	694
26,5919	667
25,9466	643
25,5430	628
24,5753	592
23,8561	565

Siedepunkt des Zn unter einem Druck von:

p mm Hg	t^0
760	919
720	914
695	911
668	905
625	896
579	884
531	872
427	831
392	815
347	792
286	760
234	728
185	694
143	667
112	643
87	624
48	592
15	565

Die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Druck läßt sich sehr gut durch die Beziehung darstellen:

$$t = 552 + 0{,}871\,466\ p - 0{,}000\,511\,278\ p^2$$

Nach derselben ergibt sich für:

p mm Hg	to
760	919
720	914,445
695	910,52

668	905,81
625	896,90
579	885
531	870,42
427	830,75
392	814,91
347	792,71
286	759,31
234	727,83
185	695,65
143	666,10
112	643,14
87	623,95
48	592,60
15	565,00

Die größte Abweichung beträgt 1,58°.

Die Abhängigkeit der Beziehung zwischen Siedepunkt und Druck läßt sich also darstellen durch die Gleichung:

$$t_p = t_{p=0} + a\,p - b\,p^2$$

Für Zn ist:

$t_{p=0} = 552$

$a = 0{,}871466$

$b = 0{,}000511278$

Die Beziehung ist also analog der von Georg Tammann aufgestellten für die Abhängigkeit der Schmelzpunkte vom Außendruck. (S. unten.)

Nullpunktsbestimmung nach den Bestimmungen bei hohen Temperaturen:

203,50	158,56
203,48	158,55
203,50	158,55
203,48	158,55
203,49	158,55
203,48	158,54
203,48	158,54
203,48	158,53
203,48	158,54
203,48	158,53
2034,85	1585,44

$$R = \frac{10 \,.\, 1585{,}44}{2034{,}85} = \begin{matrix} 7{,}7913\ \Omega \\ \text{n}\ 7{,}7913\ \Omega \end{matrix}$$

Callendar'sche Formel für höhere Temperaturen:

Es ist:

$$t - pt = \delta \left[\left(\frac{t}{100}\right)^2 - \frac{t}{100}\right]$$

$R_0 = 7{,}7913\ \Omega$

$R_{100} = 18{,}8344\ \Omega$

$R_{955} = 34{,}4738\ \Omega$

Setzt man

$$pt = \frac{R_{955} - R_0}{R_{100} - R_0} \,.\, 100,$$

so ergibt sich

$$\delta = 0{,}957$$

Man erhält also für die Materialkonstante einen Wert, der von dem für das Interval 0^0—440^0 stark abweicht.

Die Anwendung der Callendarschen Formel über Temperaturen von 500^0 dürfte also wohl nicht zulässig sein.

Die von Rudolf Mewes aufgestellte Beziehung zwischen Widerstand und Temperatur bietet dagegen große Vorzüge; besonders wegen ihrer Einfachheit. Er findet die Gleichung:

$$R_t = R_{to}\ (1 + \alpha)^{t - to}$$

Für $t_0 = {}^0$

$$t = \frac{\lg R_t - \lg R_0}{\lg (1 + \alpha)}$$

Für verschiedene Temperaturbereiche muß α eigens bestimmt werden, da es ja von der Temperatur abhängig ist:

$$\frac{1}{1 + \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = \frac{1}{t} \cdot \frac{\alpha\, R_t}{dt}$$

Für 0^0—100^0 gilt:

$$\frac{R_{100}}{R_0} = (1 + \sigma)^{100}$$

$$\alpha = 0{,}003307$$

$$t = \frac{\lg R_t - 0{,}891608}{0{,}00143198}$$

Für 100°—440,758° gilt:

$$\frac{R_t}{R_{100}} = (1 + \alpha)^{340,758}$$

$$\alpha = 0{,}00187$$

$$t = \frac{\lg R_t - 1{,}034806}{0{,}00081203} + 100{,}000$$

Für 440,758°—955° gilt:

$$\frac{R_t}{R_{440,758}} = (1 + \alpha)^{514,242}$$

$$\alpha = 0{,}00102$$

$$t = \frac{\lg R_t - 1{,}311513}{0{,}00043954} + 440{,}758$$

Danach würde sich für den Schmelzpunkt von Al:

$t = 688°$ ergeben, während nach I: $t = 657°$

Es empfiehlt sich, deswegen α für Intervalle von 100'—100° zu berechnen. In solchen Zwischenräumen schließt sich die Mewes'sche Exponentialformel ziemlich gut der Beziehung I an.

Für Temperaturen zwischen 0° und —183,5° ergibt sich: $\alpha = 0{,}00\,696$.

Anwendung der von Joh. Königsberger und O. Reichenheim aufgestellten Beziehung:

$$\frac{Rt}{Ro} = (1 + \alpha t \pm \beta t^2)\, 1^{\frac{q}{t + 273}}$$

Rt = Widerstand bei t Grad
Ro = „ „ 0 „
α und β abhängige Konstanten
q unabhängige Konstante
t Temperatur

Dann wird:

$$1{,}390577 = (1 + 100\,\alpha + 10000\,\beta)\, 1^{\frac{q}{373}}$$

$$2{,}629689 = (1 + 440{,}750\,\alpha + 194267{,}61456\,\beta)\, 1^{\frac{q}{713{,}758}}$$

$$4{,}424653 = (1 + 955\,\alpha + 912025\,\beta)\, 1^{\frac{q}{1228}}$$

Aus diesen Gleichungen wäre α, β und q zu berechnen. Für die Temperaturbe-

rechnung bei Widerstandthermometer dürfte diese Beziehung jedoch ohne praktische Bedeutung sein. Für q = o geht sie über in die von Matthiesen aufgestellte Gleichung:

$$Rt = Ro\ (1 + \alpha t \pm \beta t^2)$$

Bestimmung der tiefen Temperaturen.

Widerstandsmessung in frischer, flüssiger Luft.

a	57,40	318,2
b	57,40	318,2
a	57,43	318,2
b	57,43	318,2
a	57,43	318,2
b	57,41	318,2
a	57,40	318,2
b	57,42	318,2
a	57,43	318,2
b	57,42	318,2
	574,17	3182,0

$$R = \frac{10 \cdot 574{,}17}{3182} = 1{,}8044\ \Omega$$

Nach Holborn ist t = — 190°
also $R_{-190} = 1{,}8044\ \Omega$

Widerstandsmessung in Kohlensäureschnee und Aether:

a	185,80	317,60
b	185,75	317,40
a	185,83	317,60
b	185,80	317,57
a	185,60	317,35
b	185,80	317,60
a	185,64	317,37
b	185,80	317,60
	1486,02	2540,09

$$R = \frac{10 \cdot 1486{,}02}{2540{,}09} = 5{,}8502\ \Omega$$

Reduzierter Barometerstand = 714,3 Millimeter Hg = B.

Nach Du Bois und Wills ist:

$$T_B = T_{760} + \frac{B - 760}{55} = -80{,}0^0$$

$$R_{-80} = 5{,}8502\ \Omega$$

Widerstandsmessung in siedendem Sauerstoff.

Reduzierter Barometerstand = B = 714 mm Hg.

Nach Travers und Jacquerard:

$$T_B = T_{760} + \frac{B - 760}{77} = -183{,}5^0$$

a	692,5	317,1
b	692,5	317,0
a	692,5	317,0
b	692,4	317,0
a	692,4	317,0
b	692,4	317,0
a	692,5	317,0
b	692,3	316,9
	5539,5	2537,0

$$R = \frac{10 \cdot 5539{,}5}{2537} = 2{,}1835\ \Omega$$

$$R - 183{,}5 = 2{,}1835\ \Omega$$

Nach Bestelmeyer wurde eine quadratische Beziehung des Widerstandes und der Temperatur bis — 183,5° aufgestellt. Abweichungen von einer solchen Beziehung fand Dewar erst in der Nähe des Siedepunktes von Wasserstoff.

Es war: $R_0 = 7{,}7913\ \Omega$

$R_{-80} = 5{,}8502\ \Omega$

$R_{-183{,}5} = 2{,}1835\ \Omega$

Setzt man nach Mathiesen:

$\frac{Rt}{R_0} = 1 + \alpha t \pm \beta t^2$, so wird:

IV. $Rt = 7{,}7913\ (1 + 24044 \cdot 10^{-3}t - 8274 \cdot 10^{-6}t^2)$

Schmelzpunkt von Aethyläther:

a	148,7	315,0
b	148,7	315,1
a	148,7	315,0
b	148,6	315,0
a	148,6	315,0
b	148,6	315,0
	891,9	1891,0

$$Rt = \frac{10 \cdot 891{,}9}{1891{,}0} = 4{,}7166\ \Omega$$

Aus IV ergibt sich: $t = -117^0$.

Als Bad diente flüssige Luft.

Aus den vorstehenden Messungen hoher und tiefer Temperaturen geht hervor, daß die Konstruktion eines Platinwiderstandsthermometers für hohe und tiefe Temperaturen als gelungen zu betrachten ist.

Die obere Grenze der Anwendungsfähigkeit dürfte in dem Material des Porzellanrohres zu suchen sein. Sollten Temperaturen gemessen werden, die unterhalb der Temperatur -190^0 liegen, so müßte mindestens noch ein weiterer Fixpunkt in Betracht gezogen werden.

Nachstehend sollen noch die Beziehungen gegeben werden, wie sie in einigen früheren Arbeiten über Widerstandspyrometer aufgestellt wurden.

C. W. Siemens: Versuche zwischen 0^0 und 1000^0.

$$\frac{Rt}{R_0} = a \cdot \sqrt{T + b \cdot T + c}$$

T = absolute Temperatur

a, b, c = Konstanten.

Benoist: Versuche zwischen 100^0 und 860^0.

$$Rt = 1 + 0{,}002454\ t + 0{,}000000594\ t^2$$

Holborn in Wien: Versuche zwischen 0^0 und -190^0:

$$t = -258{,}3 + 5{,}0567\ R_t + 0{,}005855\ R_{t2}$$

Holborn: Versuche bei hohen Temperaturen:

$R_t = R_0 (1 + 0{,}003934\ t - 0{,}000000988\ t^2)$

Callendar: Versuche zwischen 0° und 650°.

1. Formel: $R_t = 1^{\frac{at}{1 + at}}$

1 = Basis des nat. Log.

$a = 0{,}0\,034\,259$

$b = 0{,}0\,015\,290$

2. Formel: $t - pt = \delta \left(\left(\frac{t}{100} \right)^2 - \frac{t}{100} \right)$

$$pt = 100 \cdot \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0}$$

δ = Materialkonstante zwischen 1,5 und 1,6 zwischen 0° und 650°.

$\delta = 2{,}050 - 0{,}00\,065\ t$ zwischen 900° und 1100°.

J. Erwan und W. H. Geek: $\delta = 1{,}57$ zwischen 79° und 100°.

Harker: $\delta = 1{,}54$ zwischen — 23° und + 45°.

Morris: $\delta = 2{,}10$ zwischen + 30° und + 200°.

J. D. H. Dickson: Berechnung für Temperaturen zwischen — 257° und + 1000°:

$$R_t = 0{,}010\,975\ .\ (pt + 283{,}0)$$

$$(R_t + 20{,}529023)^2 = 0{,}53270015\ (t + 1048{,}4396)$$

M. W. Travers u. A. G. C. Croyer: $\delta = 1{,}90$ zwischen + 34° und — 190°.

H. Kamerlingh Onnes: Versuche bis — 205°:

$$R_t = R_0 \left(1 + 0{,}393008\ \frac{t}{100} - 0{,}0093677 \left(\frac{t}{100} \right)^2 + 0{,}00058386 \left(\frac{t}{100} \right)^3 \right)$$

Versuche bis zu — 259°:

$$R_t = R_0 \left(1 + 0{,}412793 \frac{t}{100} + 0{,}013812 \left(\frac{t}{100}\right)^2 + 0{,}012683 \left(\frac{t}{100}\right)^3 + 0{,}056221 \left(\left(\frac{10}{T\,\frac{1}{2}}\right)^2 - \left(\frac{10}{273{,}09\,\frac{1}{2}}\right)^2\right) - 0{,}0033963 \left(\left(\frac{10}{T\,\frac{1}{2}}\right)^4 - \left(\frac{10}{273{,}09\,\frac{1}{2}}\right)^4\right)\right)$$

t = Temperatur in Celsiusgraden
T = Temperatur der absoluten Skala.

Abhängigkeit des Widerstandes vom umgebenden Medium und vom Druck.

W. Jala, J. F. Meritt u. C. Draga machten Untersuchungen über die Abhängigkeit des elektrischen Leitungswiderstandes vom umgebenden Gase. Eine solche wurde nicht festgestellt.

E. Wartmann, O. Chwolson und R. Lenz, auch Barus machten Untersuchungen über die Abhängigkeit des Widerstandes vom Druck.

Für Quecksilber fand Barus:

$$-\frac{d\sigma}{\sigma} = 30 \cdot 10^{-6}\, dP$$

bei Drücken zwischen 10 Atm. — 400 Atm.

In Anbetracht dieses Umstandes kann man nun die Beziehungen aufstellen:

I. $\frac{R_t}{R_0} = c \cdot f\,(t, P)$ oder

II. $R_t = c \cdot f\,(t, P, l, q)$.

In I ist die Länge und der Querschnitt in R_0 enthalten.

c = spez. Leitungswiderstand (Materialkonstante)
t = Temperatur
P = Druck
l = Länge bei 0°
q = Querschnitt bei 0°.

Die Gleichungen I und II enthalten alle in Betracht kommenden Abhängigkeiten des Leitungswiderstandes von äußeren Verhältnissen.

Untersuchungen darüber sind bei der Art der vorgenommenen Eichung jedoch nicht nötig gewesen.

Abhängigkeit der Fixpunkte vom Druck:
Abhängigkeit der Schmelzpunkte:

Aus der Clausius-Clapeyronschen Gleichung

$$\frac{dT}{d_p} = \frac{\Delta v \,.\, T}{R_p}$$

ist ersichtlich, daß die Aenderung des Schmelzpunktes mit dem Druck proportional der absoluten Temperatur ist. Wenn man von Δ v, der Volumenänderung bei Aenderung des Aggregatzustandes, und Rp, der Schmelzwärme, absieht, läßt sich der Einfluß des Druckes auf den Schmelzpunkt als eine wesentliche Funktion desselben darstellen. Sind die Regeln, nach dem sich die Volumenänderungen und Schmelzwärmen auf den Schmelzkurven mit dem Druck und der Temperatur ändern, bekannt, so wird die Gleichung integrierbar.

Es hat sich bestätigt:

$$\frac{dR_p}{dt} = o \text{ und } \frac{dR_p}{d_p} = o$$

Nach Tammann ist dann:

$$\Delta v = \alpha - \beta (T - T_o)$$
$$\Delta v \,.\, T = A - B (T - T_o)$$
$$\Delta v \,.\, T = A_1 - B_1 - p$$

α, β, A, B, A_1 und B_1 sind, wenn sich T und p auf der Schmelzkurve ändern, unveränderlich.

Berücksichtigt man noch, daß, wenn p = o auch $T = T_o$, dann ist:

$$p = \frac{R_p}{\alpha + \beta T_o} \cdot \left(\lg \frac{T}{T_o} - \lg \frac{\alpha - \beta (T - To)}{\alpha} \right)$$

$$p = \frac{-R_p}{B} \cdot \lg \frac{A - B\,(T - T_o)}{A}$$

$$T - T_o \frac{A_1}{R_p} \cdot p + \frac{B_1}{2\,R_p} - p^2$$

Die Kurven lassen sich ausdrücken eine Beziehung:

$$p = t_{p=o} + a\,p - b\,p^2$$

Dann ist:

$$p_{max} = \frac{a}{2b}$$

Für Bi kann der Maximalschmelzpunkt experimental wohl bestimmt werden, denn

$$\Delta\, v < 0$$

Man hat also mit Drücken zu tun:

$$p < 1 \text{ atm.}$$

Infolgedessen wird sich dieser Schmelzpunkt von Bi als Fixpunkt sehr gut eignen, wenn genauere Untersuchungen darüber vorliegen. Bei dem von mir als Fixpunkt gebrauchten Schmelzpunkte von Ag war eine Korrektur wegen der Aenderung des Außendruckes nicht nötig, da ja nur Schwankungen innerhalb des Barometerstandes in Betracht kamen.

Abhängigkeit der Siedepunkte vom Druck: Bei dem Schwefelsiedepunkt gebrauchte ich die von Callendar angegebene Beziehung, da sie durch mehreren Arbeiten bestätigt wurde.

Bei den einzelnen Bestimmungen der Siedepunkte einiger organischer Substanzen wurde ebenfalls der betr. Stand des Barometers vermerkt, wie letzteres ja bei der Bestimmung des Siedepunktes von Zink selbstverständlich war.

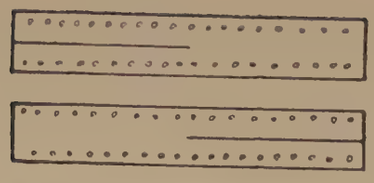
Angabe der Literatur.

A. Arndtsen: Pogg. Ann. 1858 **104** S. 1.
Derselbe: Pogg. Ann. 1858 **105** S. 148.
A. Matthiessen: Pogg. Ann. 1856 **103** S. 428.
Derselbe: Pogg. Ann. 1862 **115** S. 353.
A. Matthiessen u. M. v. Bose: Pogg. Ann. 1862 **115** S. 353.
R. Clausius: Pogg. Ann. 1858 **104** S. 150.
Siemens: Pogg. Ann. 1861 (1) S. 353.
Derselbe: Pogg. Ann. 1861 (2) S. 91.
Dr. W. Reissig: J. f. Gasbeleuchtung: 1863 S. 289.
Siemens: J. of iron and steel Inst. 1871 S. 50.
C. Schulz: Pyrot. Rundsch. D. I. 1870 **198** S. 394.
Siemens: Proc. of Roy. Soc. of Lond. Nes 128.
Spohr: Die Pyrometer 1895.
Callendar: Trans Roy. Soc. **178** S. 161.
Cree: Sum. éléctr. 1887 S. 434.
Cailleted u. Colardeau: C. R. **106** S. 1489.
Griffith: Rep. Brit. Ass. Leeds. 1890 S. 130.
Callendar: Phil. Mag. (5) **32** S. 104.
Callendar u. Griffith: Proc. of Roy. Soc. **49** S. 56.
Holborn u. Wien: Mitt. a. d. I. Abt. der Phys. Tech. Reichsanstalt 1892.
Callendar: Phil. Mag. (5) **33** S. 220.
Griffith u. Clark: Phil. Mag. (5) **34** S. 515.
Dewar u. Fleming: Phil. Mag. (5) **34** S. 326.
Griffith: Nature 52 S. 536.
Heykock u. Neville: J. chem. Soc. **67** S. 160.
Holborn u. Wien: Wied. Ann. **56** S. 360.
Dieselben: Wied. Ann. **59** S. 213.
Dickson: Phil. Mag. Dezember 1897.
Derselbe: Phil. Mag. **54** S. 525.
Chree: Nature 1898 **58** S. 304.
Chappuis u. Harker: J. d. Phys. (3) **10** S. 20.
Chree: Proc. Roy. Soc. **67** S. 3.
Dewar: Americ. J. of Sc. (4) **11** S. 291.
Dewar: Americ. J. of Sc. (4) **12** S. 168.
Holborn: Ann. d. Phys. **6** (4) S. 252.
Dewar: Proc. of Roy. Soc. **78** S. 1904.
Kamerlingh Ounes u. J. Clay: Comm. Phys. Leider Nes 95 e u. d S. 39.
Tammann: Krystallisieren und Schmelzen 1903.

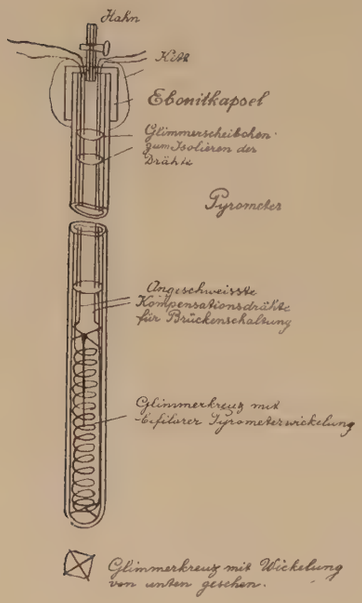
Inhaltsverzeichnis.

Pyrometerkonstruktion . . . . . S. 3
Elektrischer Ofen . . . . . „ 4
Apparate zwecks Messung tiefer Temperaturen . . . . . „ 6
Barometer . . . . . „ 7
Fixpunkte für hohe Temperaturen . . . . „ 8
Callendarsche Materialkonstantenbestimmung „ 9
Einige Temperaturmessungen . . . . . „ 10
Abhängigkeit der Temperatur vom Widerstand 3. Grades . . . . . „ 13
Einige Temperaturmessungen . . . . . „ 14
Beziehungen 2 Grades . . . . . „ 15
Apparat für Siedepunkt von Zink . . . . „ 16
Beobachtungen über Zinksiedepunkt . . . „ 16
Zusammenstellung von Widerstand und Temperatur . . . . . „ 22
Abhängigkeit des Siedepunktes vom Druck . „ 23
Andere Formeln für höhere Temperaturen . „ 25
Bestimmung tiefer Temperaturen . . . . „ 27
Frühere Arbeiten über Widerstandsthermometer . . . . . „ 27
Abhängigkeit des Widerstandes vom umgebenden Medium und Druck . . . . „ 31
Abhängigkeit der Fixpunkte vom Druck . . „ 32
Literatur . . . . . „ 34
Inhaltsverzeichnis . . . . . „ 35

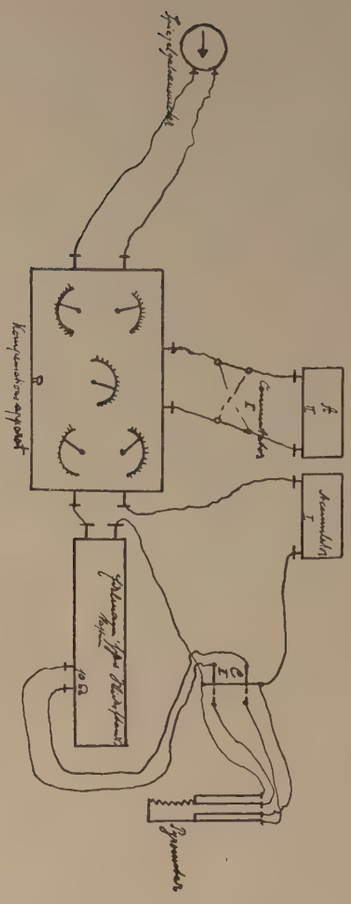
Tafel I.

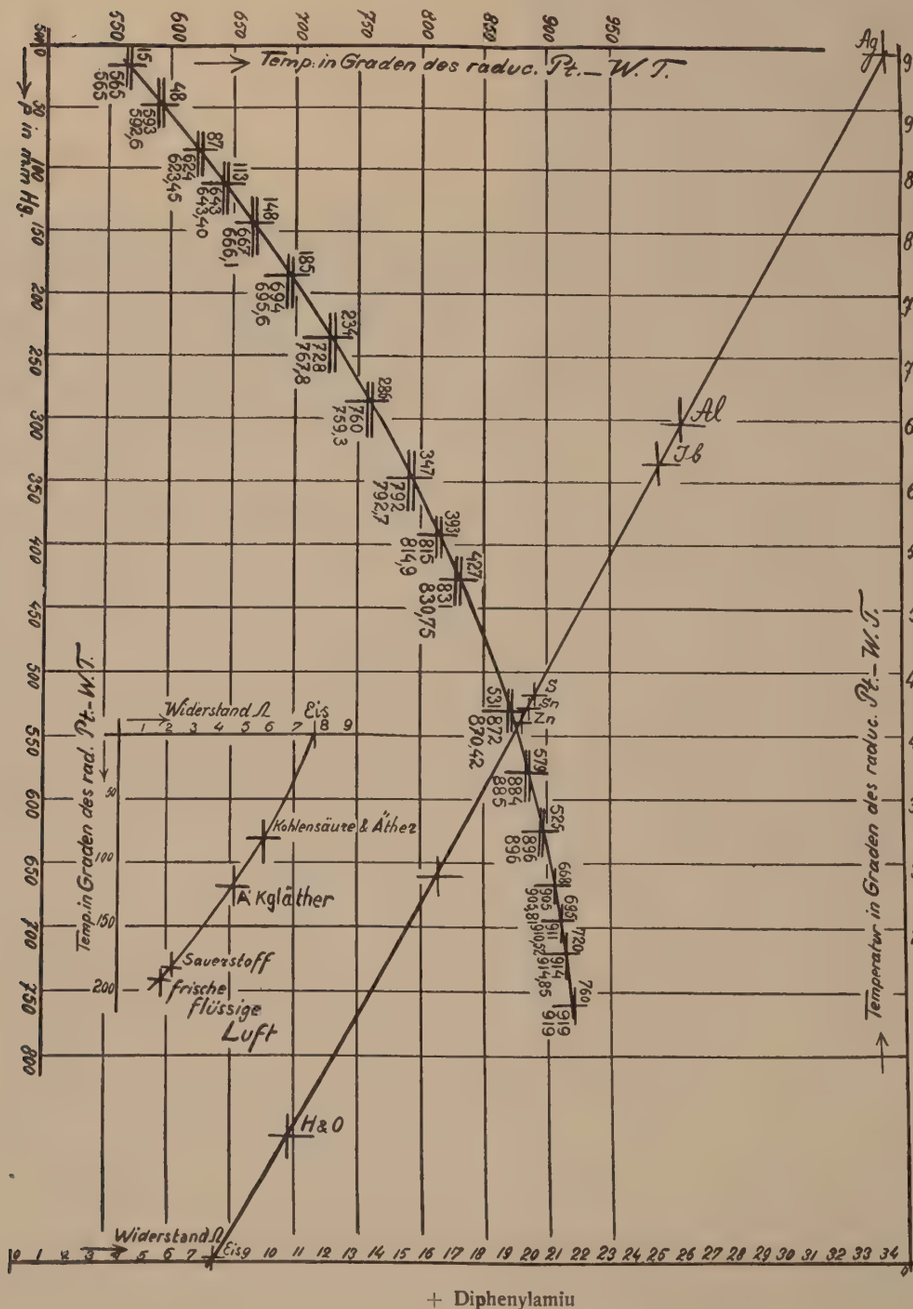


2 ineinandersteckbare Glimmerscheiben, die das Glimmerkreuz bilden.

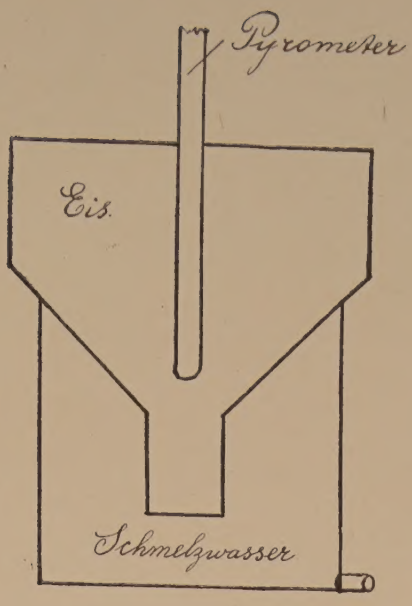


Glimmerkreuz mit Wickelung von unten gesehen.

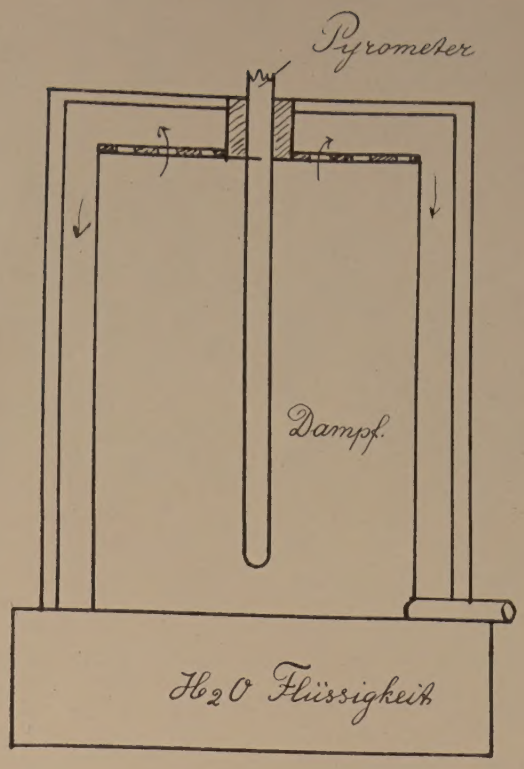


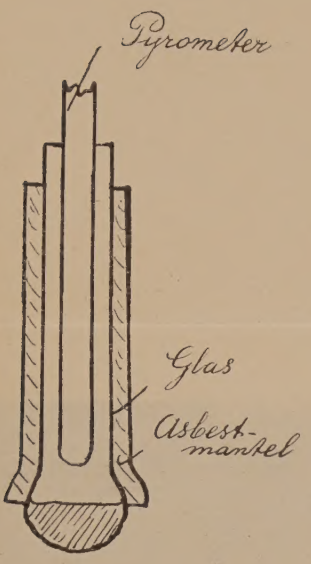


+ Diphenylamiu

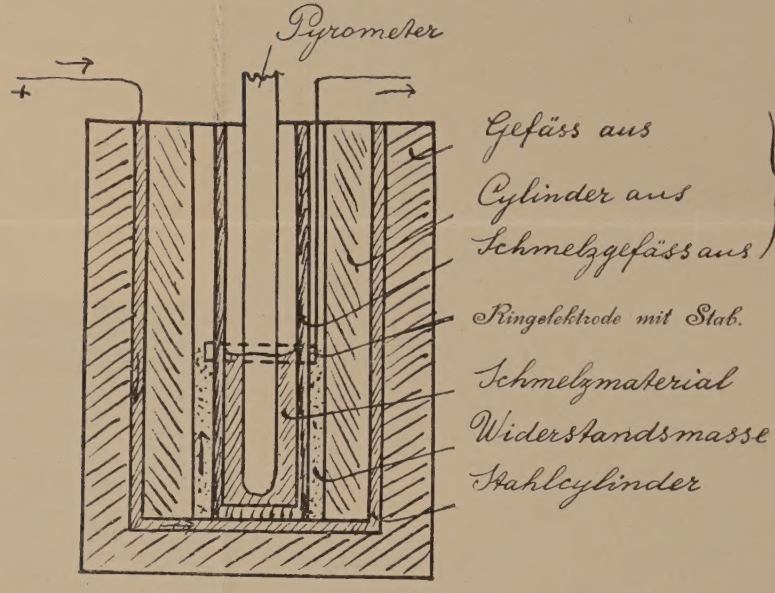


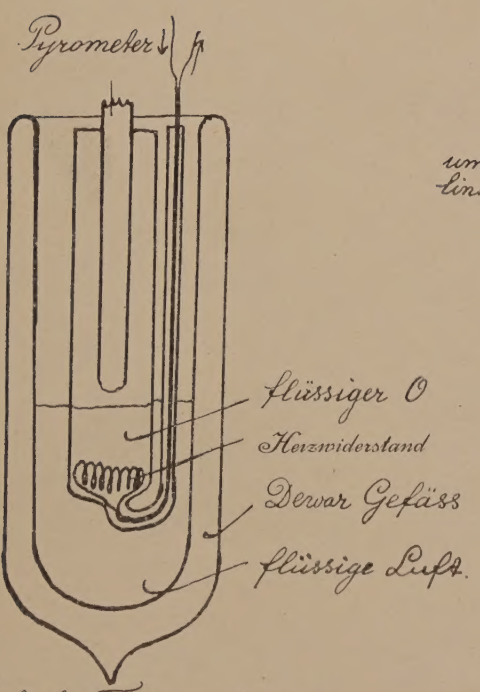
Für Siedepunktsbestimmung bis ca 450°

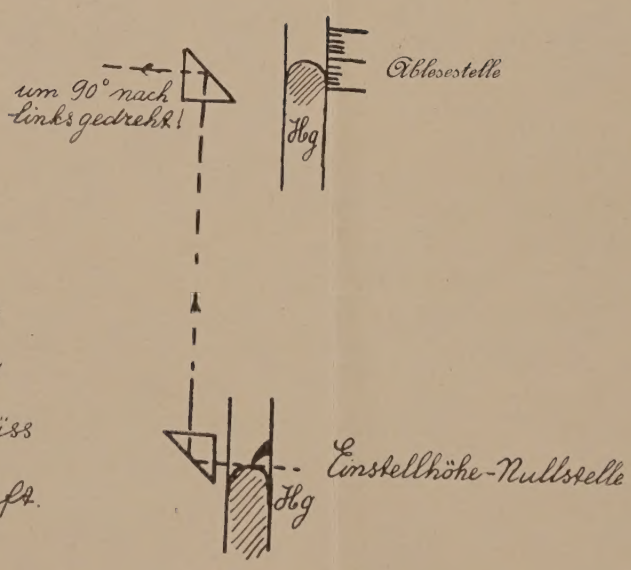




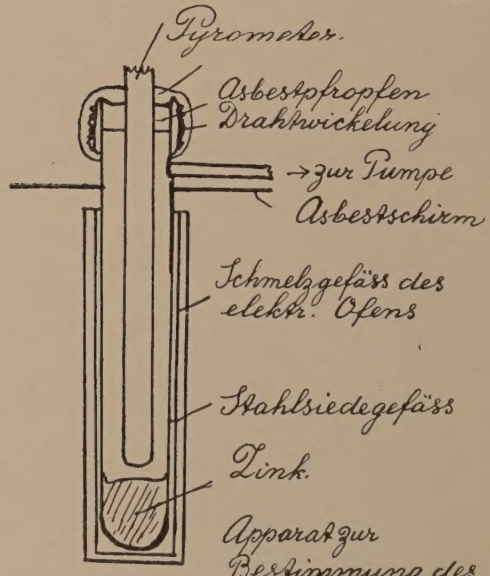
Für tiefe Temperaturen







Barometerablesung



Apparat zur Bestimmung des Siedepunktes von Zink.

Lebenslauf.

Geboren am 12. Juni 1884 zu Kohlhof (Reg.-Bez. Trier), absolvierte ich die Kgl. Kreis-, Industrie- und Oberrealschule Kaiserslautern, studierte in München an der Universität und Techn. Hochschule 1902/1907 Philosophie, Mathematik, Physik und Chemie und machte 1904 und 1906 die Prüfungen für das höhere Lehramt in Mathematik und Physik, war hierauf Physiker bei C. A. Steinheil Söhne und bei dem Deutschen Museum in München, ward hierauf wissenschaftlicher Hilfslehrer in Rees, dann Oberlehrer in Waldenburg (Schles.).